

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS**



**“DIAGNÓSTICO DEL COMPORTAMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO EN LA  
CIUDAD DE TARIJA DE LOS POZOS DE OBSERVACIÓN DE COSAALT”**

**POR:**

**ENRIQUE REYES SÁNCHEZ**

SEMESTRE I-2020

TARIJA – BOLIVIA

### **DEDICATORIA**

A mis padres Santiago Reyes y Ana Sánchez que supieron mantenerse constantes apoyándome a lo largo de la realización del presente trabajo nutriendo con sus acertados consejos para el logro de mis objetivos.

# ÍNDICE

## CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción .....	1
1.2. Justificación de la investigación .....	2
1.3. Planteamiento del problema.....	2
1.4. Hipótesis del trabajo a investigar.....	2
1.5. Objetivos .....	3
1.5.1. Objetivo general .....	3
1.5.2. Objetivos específicos.....	3
1.6. Metodología .....	3

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Agua subterránea .....	7
2.2. Estado del agua subterránea .....	8
2.3. Orígenes del agua subterránea.....	9
2.4. Importancia del estudio de las aguas subterráneas .....	10
2.5. Descripción del movimiento del agua .....	10
2.6. Flujo no saturado .....	13
2.7. Humedad en la zona freática .....	14
2.8. Concepto de hidrogeología.....	14
2.9. La hidrogeología en el campo de las ciencias .....	15
2.10. Acuíferos .....	16
2.11. Tipos de acuíferos y su comportamiento.....	16
2.12. Captaciones de agua subterránea.....	19
2.13. Filtro de pozo.....	20
2.13.1. Tipos de filtro .....	21
2.13.2. Engravado.....	24
2.14. Líneas de flujo y superficies equipotenciales .....	24
2.15. Redes de flujo .....	26
2.16. Flujo regional.....	27
2.17. Flujo horizontal: Mapas de isopiezas (Mapa Isofreático) .....	29
2.17.1. Superficies piezométricas .....	31

2.17.2. Determinación de los niveles piezométricos .....	32
2.17.3. Trazado de las curvas isopiezas.....	33
2.17.4. Tipos de superficies piezométricas.....	35
2.17.5. Análisis cuantitativo de superficies piezométricas.....	36
2.18. Oscilaciones de los niveles piezométricos del agua subterránea y sus causas .....	40
2.19. Tipos de oscilaciones piezométricas del agua subterránea.....	41
2.20. Oscilaciones rápidas de tipo periódico .....	42
2.20.1. Oscilaciones debidas a los cambios de presión atmosférica. Eficiencia barométrica .....	42
2.20.2. Oscilaciones debidas a los cambios de nivel de aguas superficiales. Eficiencia a las mareas .....	42
2.20.3. Oscilaciones debidas a la evapotranspiración .....	43
2.21. Oscilaciones rápidas no periódicas.....	43
2.22. Variaciones del nivel piezométrico originadas por extracciones de agua subterránea.....	44
2.23. Oscilaciones de los niveles piezométricos debidas a las variaciones en la recarga por la precipitación. Efectos estacionales.....	46
2.24. Oscilaciones de los niveles piezométricos en acuíferos recargados por un río .....	51
2.25. Fluctuaciones de gran periodo y tendencia de los niveles piezométricos .....	51
2.26. Régimen permanente y régimen variable .....	54
<b>CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>	
3.1. Ubicación.....	55
3.2. Ubicación geográfica.....	55
3.3. Vegetación, pisos ecológicos.....	56
3.4. Clima .....	57
3.4.1. Precipitaciones pluviales .....	57
3.5. Disponibilidad y consumo de agua potable.....	58
3.6. Zonificación del área de recarga hídrica.....	59
<b>CAPÍTULO IV: APLICACIÓN PRÁCTICA</b>	
4.1. Antecedentes.....	61
4.2. Ubicación de los pozos del área urbana de la ciudad de Tarija.....	64
4.3. Tabla de resumen de los pozos .....	65
4.4. Mapas de Isolíneas mensuales y dirección de flujo subterráneo .....	66

4.5. Variación anual del nivel freático del área urbana de la ciudad de Tarija.....	67
4.6. Diagnóstico del comportamiento de la recarga del nivel freático .....	69
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1. Conclusiones.....	93
5.2. Recomendaciones .....	95
<b>BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA .....</b>	<b>97</b>

## **Índice de figuras**

Figura 1. Escala temporal. ....	4
Figura 2. Escala espacial. ....	5
Figura 3. Sección transversal esquemática que muestra el estado del agua subterránea.....	7
Figura 4. Humedad capilar del suelo. ....	9
Figura 5. El ciclo hidrológico. ....	12
Figura 6. Zonas y procesos del agua subsuperficial. ....	14
Figura 7. Cono de influencia al bombear un pozo de captación.....	17
Figura 8. Efecto de las captaciones en el nivel del agua de los acuíferos. ....	20
Figura 9. Cañería ranurada verticalmente con soplete. La superficie abierta es muy escasa y las ranuras muy anchas. ....	22
Figura 10. Filtro tipo persiana o celosía, en tramos de 1,5 m.....	23
Figura 11. Enrollado del filamento en un filtro de ranura continua tipo Johnson. El filamento va soldado a las nervaduras en cada cruce.....	23
Figura 12. Detalle del filamento y las nervaduras en un filtro de ranura continua. ....	24
Figura 13. ABC es una línea de flujo. ....	25
Figura 14. Superficies equipotenciales. ....	25
Figura 15. Superficies equipotenciales bajo una ladera y el correspondiente perfil con red de flujo.....	26
Figura 16. Red de flujo que esquematiza el flujo subterráneo natural en una región de conductividad hidráulica homogénea. ....	28
Figura 17. Áreas de descarga.....	28
Figura 18. El mapa de isopiezas (18.1) puede representar la forma de la superficie freática de un acuífero libre (18.2) o la forma de la superficie piezométrica de un acuífero confinado (18.3). ....	29
Figura 19. Superficies equipotenciales en un acuífero libre con componente vertical de flujo y en un acuífero confinado con flujo horizontal. ....	30

Figura 20. Red de flujo aproximada en un acuífero libre drenado por un río poco penetrante. En las proximidades del río se crea un flujo con componentes verticales de velocidad. La superficie piezométrica es única lejos del río pero varía con la profundidad cerca del mismo, y puede Llegar a quedar por encima del terreno. ....	32
Figura 21. Trazado de las isopiezas dados 5 puntos con los respectivos niveles piezométricos.....	34
Figura 22. Isopiezas aproximadas creadas por el bombeo en pozos en acuíferos con flujo natural. ....	34
Figura 23. Ilustraciones simples de algunos tipos sencillos de superficies piezométricas...	36
Figura 24. Cálculo del flujo que atraviesa AB o que circula por el tubo $ii - 1 - ii + 1$ en ausencia de recarga. ....	37
Figura 25. Esquema de aplicación del método del balance. Las líneas h son isopiezas y las i líneas de corriente. ....	39
Figura 26. Esquema de un acuífero que diverge en el sentido del flujo.....	40
Figura 27. Oscilaciones piezométricas originadas por extracción de agua subterránea.....	45
Figura 28. Oscilaciones de nivel en un piezómetro en el acuífero profundo del delta del río Llobregat. ....	46
Figura 29. Oscilaciones piezométricas en el acuífero superficial (prácticamente freático) del delta del río Llobregat.....	48
Figura 30. Curvas de recesión de un acuífero libre entre dos canales de drenaje paralelos. En los períodos a, la descarga es mayor que la recarga y en los períodos b la recarga domina sobre la descarga.....	49
Figura 31. Hidrogramas de cinco pozos de Long Island, New York mostrando el retraso de la recarga al aumentar la profundidad. En el pozo más superficial se nota la recarga de la estación húmeda del Ario. ....	49
Figura 32. Hidrograma de un piezómetro del campo de Tarragona (España). (Tomado de los archivos de la comisaría de aguas del pirineo oriental; datos de Hifrensa). Los meses señalados son anormalmente húmedos.....	50
Figura 33. Relación entre niveles del agua subterránea, la pluviometría y el desvío acumulado de la pluviometría. ....	50
Figura 34. Variaciones a largo plazo de la pluviometría y de los niveles del agua subterránea en California.....	53
Figura 35. Oscilaciones extremas semanales en los acuíferos de Prat de Llobregat (Barcelona). El acuífero profundo (es libre en otras zonas y semiconfinado en la zona representada) está intensamente explotado por industrias. (Datos de los archivos de la comisaría de aguas del pirineo oriental). ....	54
Figura 36. Identificación del área de estudio.....	56

Figura 37. Relación entre el volumen de producción de fuentes superficiales y subterráneas (pozos de COSAALT.).....	59
Figura 38. Direcciones de circulación del agua subterránea del sector norte y oeste, como así también áreas de recarga preferencial del área de Piedemonte.....	62
Figura 39. Ubicación de los cuarenta pozos del área urbana de la ciudad de Tarija. ....	64
Figura 40. Ubicación de los 8 pozos que son solo de observación del área urbana de la ciudad de Tarija. ....	64
Figura 41. Dirección del flujo de la zona de estudio.....	66
Figura 42. Zonificación del área urbana de la ciudad de Tarija de acuerdo al rango de variación anual del nivel freático.....	68
Figura 43. Hidrograma de nivel freático y precipitación (pozo DANIEL CAMPOS).....	70
Figura 44. Hidrograma de nivel freático y precipitación (pozo VILLA BUSCH).....	73
Figura 45. Hidrograma de nivel freático y precipitación (pozo CIRCUNVALACIÓN "A"). .....	76
Figura 46. Hidrograma de nivel freático y precipitación (pozo CIRCUNVALACIÓN "B"). .....	79
Figura 47. Hidrograma de nivel freático y precipitación (pozo NARCISO CAMPERO). ..	82
Figura 48. Hidrograma de nivel freático y precipitación (pozo SAN LUIS). ....	85
Figura 49. Hidrograma de nivel freático y precipitación (pozo STADIUM). ....	88
Figura 50. Hidrograma de nivel freático y precipitación (pozo STADIUM PN).....	91

## Índice de tablas

Tabla 1. Función, barrio de abastecimiento y fecha de inicio de operación de los pozos del área urbana de la ciudad de Tarija. ....	65
Tabla 2. Variación anual del nivel freático.....	67
Tabla 3. Rango de variación anual del nivel freático. ....	68
Tabla 4. Datos de precipitación y nivel freático (pozo DANIEL CAMPOS). ....	69
Tabla 5. Datos de precipitación y nivel freático (pozo VILLA BUSCH). ....	72
Tabla 6. Datos de precipitación y nivel freático (pozo CIRCUNVALACIÓN "A"). ....	75
Tabla 7. Datos de precipitación y nivel freático (pozo CIRCUNVALACIÓN "B"). ....	78
Tabla 8. Datos de precipitación y nivel freático (pozo NARCISO CAMPERO).....	81
Tabla 9. Datos de precipitación y nivel freático (pozo SAN LUIS).....	84
Tabla 10. Datos de precipitación y nivel freático (pozo STADIUM). ....	87
Tabla 11. Datos de precipitación y nivel freático (pozo STADIUM PN). ....	90